

ハイパースペクトラルイメージセンサ：VERDE

Hyperspectral Image Sensor: VERDE

佐藤 世智^a, 石川 達夫^a

Seichi Sato and Tatsuo Ishikawa

1. はじめに

Hyperspectral Imaging (HSI) とは、二次元のスペクトル測定を行う技術のことである。イメージングと分光計測を融合させたものであり、これまで AOTF や液晶可変フィルタなどを用いた製品が存在してきた。「VERDE」は既存製品に無い新しい手法を採用し開発が進められている HSI カメラであり、その特徴として、測定対象の映像取得と分光測定が完全に同時に行えるという点が挙げられる。これは波長可変フィルタを用いる既存製品のように、透過波長を時間的に変化させながら HSI を行う方式では実現できなかったことであり、プラズマやエンジンの燃焼解析といった測定の同時性が要求される分野で有効な計測手段になるものと期待している。また近年、細胞膜のダイナミクスを対象とした研究が、HSI¹のみならず Imaging Correlation Spectroscopy² といった他の測定手法で報告されており、これらの分野での応用も考えられる。

2. VERDE

2.1 原理

VERDE は Computed Tomography Imaging Spectroscopy (CTIS) と呼ばれる原理に基づいており^{3,4}、光学系は Figure 1 に示すようにコリメーションレンズ、結像レンズ、2次元の透過型グレーティング、イメージセンサから構成される。

この光学系において、物点からの光は通常のグレーティングと異なり、Figure 2 に示すように2次元に回折し、イメージセンサ上に像を結ぶ。このとき回折像には対象の異なる点からの回折光がオーバーラップしているため、画像から直接対象のスペクトルを確認することはできない。しかし、2次元に展開された各回折次数の画像には対象のスペクトル情報が含まれており、CTIS ではこの情報を数値解析によって復元し HSI データを得る。この数値解析は事後的に行えばよく、CTIS において全てのスペクトル情報は一度の撮像で一括して Figure 2 に示す回折像に記録される。

また、0次回折像は対象の像そのものであり、スペクトル測定と同時に通常の像も取得できることが CTIS の特徴のひとつである。



Figure 1. VERDE Overview

Upper: Picture of VERDE. Lower: Functional optical components within the blue case in the upper figure. VERDE can be set up on microscopes with C-mount and its focusing lens can be changed.

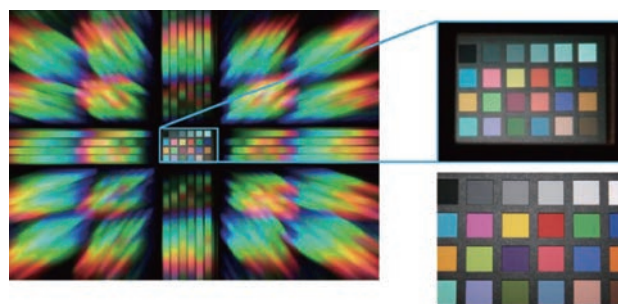


Figure 2. Captured image with VERDE

Left: Two-dimensionally diffracted image of the sample. Upper right: 0th order diffraction image. Lower right: The sample (color chart). CTIS captures image of multiple diffraction orders at once, and then obtains the hyperspectral data cube by numerical analysis.

2.2 特徴

他の HSI 製品と比較した本製品の特徴は下記のとおりである。

- (1) ワンショットでの HSI データ取得が可能

^a 株式会社堀場製作所

連絡先 〒 601-8510 京都市南区吉祥院宮の東町 2
電子メール seichi.sato@horiba.com

(2) 機械的な駆動部が無い

上記、2つの特徴は原理の節で述べた通りである。

(3) 外部電源が不要 (カメラと PC を除く)

CTIS は AOTF や BTF (Bragg Tunable Filter)、液晶可変フィルタ方式のように電気的な制御を要する素子を用いていない。そのため、他の方式よりもコンパクトに光学系を構築することが可能である。

(4) 最小限の偏光依存性

HSI の中でも、液晶可変フィルタ (Lyot Filter) は偏光依存性が強く、原理上特定の直線偏光しか測定することができない。これに対して CTIS は、測定光の偏光状態に対して制約を持たない。

2.3 性能

現在製品化を予定しているモデルの基本性能は下表の通りである。Table 1 に示した性能の内、撮像スピード以外はグレーティングによってチューニングが可能であるが、原理上の制約として、空間解像度と波長分解能とはトレードオフの関係にある。これは、イメージセンサの画素数を固定した状態で空間解像度を上げるということが、スペクトル情報の損失を招くからである。また逆に、波長分解能を上げるためには対象各点のスペクトルをより多くイメージセンサ上に展開する必要がある、空間解像度は低下する。

Table 1. Specifications of VERDE

Spatial resolution	200 × 300 (~ 300 × 500)
Spectral range	440 – 700 nm
Spectral resolution	5 nm
Acquisition speed	3 ms ~ (depending on sensor used)

2.4 測定例

VERDE による炎の測定例を Figure 3 に示す。画像は通常のカラー画像と、再構築した6つのスペクトル画像を抜き出したものであり、時間変化する対象の同一時刻の分光情報と画像が記録されていることが確認できる。また、Figure 4 は室内で記録したレーザーポインタの輝点 (画像左側) をスペクトル解析した結果である。グラフより、スペクトルのピークが 5 ~ 10 nm 程度の半値幅で得られていることが確認できる。

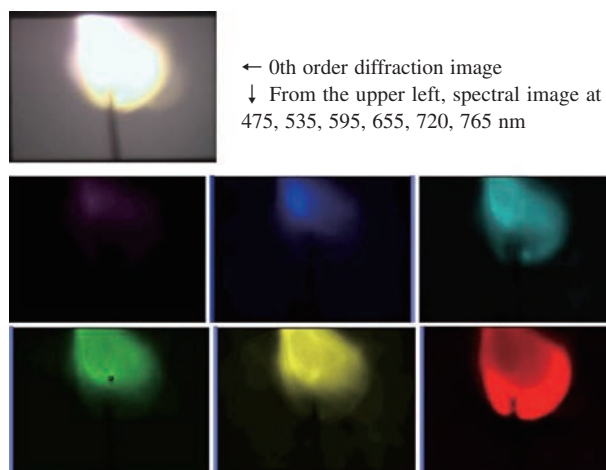


Figure 3. Hyperspectral images of flame

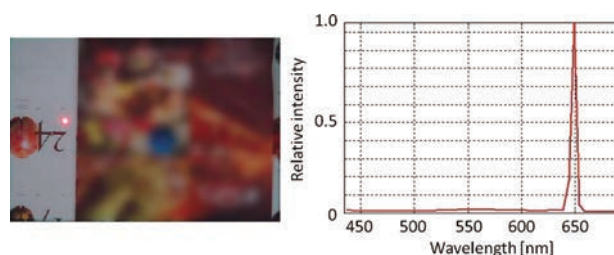


Figure 4. Spectrum of diode laser

3. 今後の製品開発

VERDE の基本性能とトレードオフの関係については 2.3 節で述べたとおりであるが、用途によっては波長分解能を低くしてでも、より高い空間分解能が必要になる場合も考えられる。このような要求に対しては将来的に対応できるように、異なる性能を有するモデルの開発を検討している。

4. おわりに

本稿では CTIS 方式を採用したハイパースペクトラルイメージセンサ「VERDE」について紹介させていただいた。本製品が最先端の研究に多少なりとも貢献できれば幸甚である。

引用文献

- (1) Jesse, A. et al. *Nano Lett.* **2009**, *9*, 3612–3618.
- (2) Bonor, J.; Nohe, A. In *Methods in Molecular Biology*, Humana Press: New York, 2010; Vol. 591, pp 353–364.
- (3) Okamoto, T.; Yamaguchi, I. *Opt. Lett.* **1991**, *16*, 1277–1279.
- (4) Descour, M.; Dereniak, E. *Appl. Opt.* **1995**, *34*, 4817–4826.

(受理日 2012年1月25日)